

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 9 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05758

研究課題名（和文）超音波・磁場感受性レシーバ分子開発と筋組織形成促進技術への応用

研究課題名（英文）Development of ultrasonic and magnetic field-sensitive receiver molecules and their application to muscle tissue formation promotion technology

研究代表者

井上 圭一（Inoue, Keiichi）

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号：90467001

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 29,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では超音波および磁場の二種類の低物理エネルギーで、神経細胞の活動を制御する新たな要素技術開発を第一の目的とする。このため様々な機械受容チャネルや鉄ナノ微粒子を含む籠構造を形成するFerritinタンパク質を用いて、超音波および磁場に応答する分子（レシーバ分子）を開発する。そしてレシーバ分子を異種発現させたホ乳類細胞へ外部から最大200 mT程度の磁場を印加し、チャネル電流やカルシウムシグナルを測定することで、磁場に対する応答性を評価する。さらに開発したレシーバ分子を骨格筋細胞へと導入することで、磁場による細胞の収縮や骨格筋の維持・再生を試みることを第二の目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では様々な分子デザインを試みることで、細胞中で機械受容チャネルにFerritinを強固に結合することに成功した。そしてさらに磁場を印加することで一部の細胞において磁場印加に伴うカルシウムシグナルの増大を引き起こすことに成功した。今後この効率を向上させることで、現行の可視光を用いるオプトジェネティクスでは困難な、体深部における骨格筋や神経細胞の操作が可能となり、将来的には現在有効な治療法がない筋萎縮性側索硬化症（ALS）の治療法開発への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：The primary objective of this research is to develop new elemental technologies to control neuronal activity with two types of low-physical energy, ultrasound and magnetic fields. To this aim, we will develop new molecules that sensitively respond to ultrasound and magnetic fields (receiver molecules) using various mechanosensitive channels and ferritin protein, which forms a nano-size cage containing an iron nanoparticle. We will then apply a magnetic field of up to 200 mT to mammalian cells heterologously expressing the receiver molecules and measure channel currents and calcium signals to evaluate their responsiveness to the magnetic fields. Furthermore, by introducing the developed receiver molecule into skeletal muscle cells, we will attempt to induce cell contraction and maintain and to regenerate skeletal muscle in response to magnetic fields as our second objective.

研究分野：生物物理

キーワード：深部生体操作 光熱変換 超音波 磁場 低物理エネルギーロジスティクス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

今世紀に入って発見されたチャンネルロドプシン (Nagel, *et al.*, *Science*, 2002; Nagel, *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2003) を用いたオプトジェネティクスの登場 (Boyden, *et al.*, *Nat. Neurosci.*, 2005; Deisseroth, *Nat. Neurosci.*, 2015) によって、任意の神経細胞の活動を高い空間・時間分解能で人為的に操作することが可能になった。これにより神経科学研究に革新がもたらされ、基礎的な脳回路研究だけでなく、パーキンソン病やアルツハイマー病などの神経・精神疾患の治療法への応用が展望されている。しかしオプトジェネティクスでチャンネルロドプシンの駆動に用いられる可視光は、脳などの生体組織により吸収・散乱され、また組織深部の操作が困難となる問題がある。これに対し、超音波や磁場は古くから生体診断に用いられる中で、生体組織によりほとんど遮られず、深部組織に効率よくエネルギーを伝達できることがよく知られている。しかし、超音波や磁場に高効率で応答し、神経細胞の操作が可能な分子の報告はいまだ為されていない。

一方、脊髄運動ニューロンは、骨格筋細胞を脱分極することにより、その収縮を制御し、さらに骨格筋構造の維持・再生を促進している。筋萎縮性側索硬化症 (ALS) においては、脊髄運動ニューロンの変性が原因で、骨格筋の運動障害や萎縮・線維化が進行する。しかし、筋細胞の萎縮は、運動神経の変性による二次的な病変である。また、事故や高齢化に伴う脊髄損傷は、年々増加傾向にある。脊髄損傷の二次症状としての骨格筋の運動障害や萎縮は、患者のクオリティオブライフ (QOL) に重篤な影響を及ぼすものであるにも関わらず、有効な治療法がない。これに対し、我々はこれまでの研究において、チャンネルロドプシンを発現した C2C12 由来の筋幹細胞に周期的な光照射を行うことで、横紋形成を促進し、光刺激に応答して収縮する筋細胞に成熟できることを見出している (Asano, *et al.*, *Sci. Rep.*, 2015)。これは光で運動ニューロンの役割を代替した点において、極めて画期的である。また我々はこれまでにチャンネルロドプシンを、C2C12 筋芽細胞の ER/SR 特異的に発現させ、光照射による細胞内  $Ca^{2+}$  濃度上昇や細胞内  $Ca^{2+}$  ストアの枯渇を確認した (Asano, *et al.*, *Front. Neurosci.*, 2018)。これにより、周期的な外部刺激により筋芽細胞の  $Ca^{2+}$  振動と分化を促進できることが示されているが、可視光を用いるがゆえ、チャンネルロドプシンを用いた刺激法では実際の生体への応用に限界があった。

## 2. 研究の目的

本研究では、遺伝学的に改変された、チャンネルロドプシンを発現する細胞に、可視光を照射することで、細胞の動態を自在に制御するオプトジェネティクスのコンセプトを大きく発展させ **超音波および磁場を用いた低物理エネルギー操作法の創出に挑む**。そのため機械受容チャンネルや、鉄ナノ微粒子を含む籠構造を形成する Ferritin タンパク質をもとにこれらの低物理エネルギーに高感度に応答する **レシーバ分子** を創出し、さらにそれによってイオンチャンネルを駆動する分子系を作り出すところに中心課題の第一がある。また細胞レベルで超音波・磁場刺激に応答する分子ツールを構築した後は、ALS 治療法の要素技術開発として、これらを骨格筋へと導入し、「骨格筋収縮の時空間制御」と「骨格筋の維持・再生」という脊髄運動ニューロンの 2 つの主要な機能を超音波や磁場で代替する基盤研究を第二の中心課題とする。

## 3. 研究の方法

分子レシーバのチャンネル部分については、大腸菌由来 MscL と、ヒト由来の Piezo1 を用いた。それぞれのタンパク質に分子間結合のためのドメインを導入し、プラスミド DNA をホ乳類細胞へ導入することで分子を発現させた。

細胞への磁場印加については、正立顕微鏡の細胞ステージ下部にドライバコイルを設置し、ドライバアンペアから電流をコイルへ流すことで磁場を発生させた。

超音波や磁場の照射に伴うイオン輸送は、パッチクランプ計測による電流測定と、Fura2 を用いた  $Ca^{2+}$  イメージングによって評価した。mCherry-Ferritin の安定性については、タンパク質を大腸菌発現させ、加熱後変性したタンパク質を含む不溶性画分と未変性のタンパク質を含む水溶

性画分を比較することで評価した。

#### 4. 研究成果

本研究ではレシーバ分子のチャネル部分を成すタンパク質として、大腸菌由来の大口径チャネルである MscL と、ヒト由来の Piezo1 に着目した。両者ともに細胞中で良好な膜移行を示し、特に MscL については 0.7 nS と非常に大きな単一チャネル電流が観測され、高いイオン輸送能を持つことが示された。

また顕微鏡ステージ上の細胞に磁場を印加するため、ステージ直下にドライバコイルを設置し、DC 磁場ならびに最大 500 kHz、最大 200 mT 程度の AC 磁場が印加可能なシステムを構築した。

Piezo1-NCOA4-EGFP と mCherry-Ferritin を共発現させたところ、共に形質膜へ局在した蛍光像が確認された (図 1) ことから、前者の良好な形質膜移行性と、NCOA4 を介した両者の強い結合性が実証された。さらに Piezo1-NCOA4-EGFP のイオン輸送能を評価するため、パッチクランプ計測を行ったところ、野生型 Piezo1 と同程度の電流が観測された。このことから挿入された NCOA4 は Piezo1 のイオン輸送を阻害しないことが確認された。

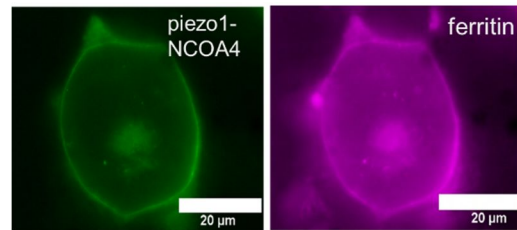


図 1. Piezo1-NCOA4-EGFP (左) と mCherry-Ferritin (右) の蛍光顕微鏡像

そして、Piezo1-NCOA4-EGFP と mCherry-Ferritin を共発現させた細胞に磁場を印加したところ、一部の細胞で磁場印加中から磁場印加後しばらくの間継続する、持続的な  $Ca^{2+}$  シグナルの増加が見られた。これらの細胞では mCherry-Ferritin が結合することで、磁場によって Piezo1-NCOA4-EGFP のチャネルが開き、 $Ca^{2+}$  の増加が引き起こされたと考えられる。一方で、両タンパク質を発現しているにもかかわらず  $Ca^{2+}$  シグナルの変化を示さない細胞も見られたことから、100% の効率で磁場操作を行うことは困難であると考えられる。これについては、今後導入するプラスミド DNA の量やコンストラクトの設計、印加する磁場の強度や周波数などを最適化することで解決を図る必要がある。一方、MscL については、FKBP および FRB を MscL および mCherry-Ferritin に結合させ、ラパマイシン添加による両者の結合を試みたが、明確な形質膜への共局在は見られなかった。また MscL に NCOA4 ドメインを導入したところ、弱いながら一部 Ferritin との共局在が見られたが、磁場操作の為に十分でないと考えられる。従って、これについては MscL と mCherry-Ferritin を可能にするコンストラクトをさらに検討していく必要がある。

また持続的なタンパク質発現による分子の劣化を防ぐため、mCherry-Ferritin のコンストラクトについて検討を行った。当初、mCherry に Ferritin 軽鎖と重鎖をタンデムにつないだコンストラクトを構築したが、この場合 70 °C に加熱するとほぼ全てのタンパク質が変性した。一方、重鎖のみを mCherry につなぐと、軽鎖を含めた場合と比較して 70 °C 加熱時の変性タンパク質量が半分に減少した。また重鎖のみの場合でも磁気モーメントは維持されていることが確認されたことから、同コンストラクトを用いることで、長時間のタンパク質発現や磁場操作が可能になると期待される。

超音波操作については、機械刺激受容性のある MscL および Piezo1 を発現させた細胞に、超音波を照射するシステムを A03 班と検討し、実際に照射可能なことを確認した。

以上、研究期間内に磁場印加システム構築およびレシーバ分子開発のそれぞれにおいて大きな進展を得ることができた。今後これらの成果について論文化を行うとともに、残るもう一つの目的である骨格筋への導入と、低物理エネルギーによる筋収縮や骨格筋の維持・再生法の確立を目指す。

#### < 引用文献 >

1. Nagel, G. *et al.*: *Science*, **296**, 2395-2398 (2002).
2. Nagel, G. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **100**, 13940-13945 (2003).
3. Boyden, E. S. *et al.*: *Nat. Neurosci.*, **8**, 1263-1268 (2005).

4. Deisseroth, K.: *Nat. Neurosci.*, **18**, 1213-1225 (2015).
5. Asano, T. *et al.*: *Sci. Rep.*, **5**, 8317 (2015).
6. Asano, T. *et al.*: *Front. Neurosci.*, **12**, 561 (2018).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 32件／うち国際共著 14件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Rozenberg, Kaczmarczyk, Matzov, Vierock, Nagata, Sugiura, Katayama, Kawasaki, Konno, Nagasaka, Aoyama, Das, Pahima, Church, Adam, Borin, Chazan, Augustin, Wietek, Dine, Peleg, Kawanabe, Fujiwara, Yizhar, Sheves, Schapiro, Furutani, Kandori, Inoue, Hegemann, Beja, Shalev-Benami	4. 巻 29
2. 論文標題 Rhodopsin-bestrophin Fusion Proteins from Unicellular Algae form Gigantic Pentameric Ion Channels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Structural & Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 592-603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41594-022-00783-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuma Kawasaki, Masae Konno, Keiichi Inoue	4. 巻 1864
2. 論文標題 Kinetic Study on The Molecular Mechanism of Light-driven Inward Proton Transport by Schizorhodopsins	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes	6. 最初と最後の頁 184016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbamem.2022.184016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chazan, Das, Fujiwara, Murakoshi, Rozenberg, Molina-Marquez, Sano, Tanaka, Gomez-Villegas, Larom, Pushkarev, Malakar, Hasegawa, Tsukamoto, Ishizuka, Konno, Nagata, Mizuno, Katayama, Abe-Yoshizumi, Ruhman, Inoue, Kandori, Leon, Shihoya, Yoshizawa, Sheves, Nureki, Beja	4. 巻 615
2. 論文標題 Phototrophy by Antenna-Containing Rhodopsin Pumps in Aquatic Environments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 535-540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-023-05774-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akihiro Otomo, Misao Mizuno, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani	4. 巻 20
2. 論文標題 Protein Dynamics of a Light-Driven Na <sup>+</sup> Pump Rhodopsin Probed Using a Tryptophan Residue Near the Retinal Chromophore	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biophysics and Physicobiology	6. 最初と最後の頁 e201016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophysico.bppb-v20.s016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shibuki Suzuki, Sari Kumagai, Toshio Nagashima, Toshio Yamazaki, Takashi Okitsu, Akimori Wada, Akira Naito, Kota Katayama, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Izuru Kawamura	4. 巻 296
2. 論文標題 Characterization of Retinal Chromophore and Protonated Schiff Base in Thermoplasmales Archaeon Heliorhodopsin Using Solid-State NMR Spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biophysical Chemistry	6. 最初と最後の頁 106991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpc.2023.106991	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maria del Carmen Marin, Alexander L. Jaffe, Patrick T. West, Masae Konno, Jillian F. Banfield	4. 巻 20
2. 論文標題 Biophysical Characterization of Microbial Rhodopsins with DSE Motif	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biophysics and Physicobiology	6. 最初と最後の頁 e201023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophysico.bppb-v20.s023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shunpei Hanai, Takashi Nagata, Kota Katayama, Shino Inukai, Mitsumasa Koyanagi, Keiichi Inoue, Akihisa Terakita, Hideki Kandori	4. 巻 62
2. 論文標題 Difference FTIR Spectroscopy of Jumping Spider Rhodopsin-1 at 77 K	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1347-1359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.3c00022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoya Morimoto, Takashi Nagata, Keiichi Inoue	4. 巻 62
2. 論文標題 Reversible Photoreaction of a Retinal Photoisomerase, Retinal G Protein-Coupled Receptor RGR	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1429-1432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.3c00084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Nakasone, Yuma Kawasaki, Masae Konno, Keiichi Inoue, Masahide Terazima	4. 巻 25
2. 論文標題 Time-Resolved Detection of Light-induced Conformational Changes of Heliorhodopsin	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 12833-12840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3CP00711A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maria del Carmen Marin, Masae Konno, Hiromu Yawo, Keiichi Inoue	4. 巻 145
2. 論文標題 Converting a Natural Light-driven Outward Proton Pump Rhodopsin into an Artificial Inward Proton Pump	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10938-10942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c12602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keisei Shibata, Kazumasa Oda, Tomohiro Nishizawa, Yuji Hazama, Ryohei Ono, Shunki Takaramoto, Reza Bagherzadeh, Hiromu Yawo, Osamu Nureki, Keiichi Inoue, Hidefumi Akiyama	4. 巻 145
2. 論文標題 Twisting and Protonation of Retinal Chromophore Regulates Channel Gating of Channelrhodopsin C1C2	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10779-10789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c01879	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuma Kawasaki, Masae Konno, Keiichi Inoue	4. 巻 779
2. 論文標題 Thermostable Light-Driven Inward Proton Pump Rhodopsins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 138868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2021.138868	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masae Konno, Keiichi Inoue, Hideki Kandori	4. 巻 11
2. 論文標題 Ion transport activity assay of microbial rhodopsin expressed in Escherichia coli cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bio-protocol	6. 最初と最後の頁 e4115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21769/BioProtoc.4115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Andrey Rozenberg, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Oded Beja	4. 巻 75
2. 論文標題 Microbial Rhodopsins: The Last Two Decades	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annual Review of Microbiology	6. 最初と最後の頁 427-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1146/annurev-micro-031721-020452	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuta Nakajima, Laura Pedraza-Gonzalez, Leonardo Barneschi, Keiichi Inoue, Massimo Olivucci, Hideki Kandori	4. 巻 4
2. 論文標題 Pro219 is an Electrostatic Color Determinant in the Light-driven Sodium Pump KR2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 1185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-021-02684-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Paul-Adrian Bulzu, Vinicius Silva Kavagutti, Maria-Cecilia Chiriac, Charlotte D. Vavourakis, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Adrian-Stefan Andrei, Rohit Ghai	4. 巻 6
2. 論文標題 Heliorhodopsin Evolution is Driven by Photosensory Promiscuity in Monoderms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 mSphere	6. 最初と最後の頁 e00661-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/mSphere.00661-21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する



1. 著者名 Takashi Nagata, Keiichi Inoue	4. 巻 134
2. 論文標題 Rhodopsins at a Glance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cell Science	6. 最初と最後の頁 jcs258989
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jcs.258989	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ariel Chazan, Andrey Rozenberg, Kentaro Mannen, Takashi Nagata, Ran Tahan, Shir Yaish, Shirley Larom, Keiichi Inoue, Oded Beja, Alina Pushkarev	4. 巻 24
2. 論文標題 Diverse Heliorhodopsins Detected via Functional Metagenomics in Freshwater Actinobacteria, Chloroflexi and Archaea	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Microbiology	6. 最初と最後の頁 110-121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1462-2920.15890	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 K. E. Kishi, Y. S. Kim, M. Fukuda, T. Kusakizako, E. Thadhani, E. F. X. Byrne, J. M. Paggi, C. Ramakrishnan, T. E. Matsui, K. Yamashita, T. Nagata, M. Konno, P. Y. Wang, M. Inoue, T. Benster, T. Uemura, K. Liu, M. Shibata, N. Nomura, S. Iwata, O. Nureki, R. O. Dror, K. Inoue, K. Deisseroth, H. E. Kato	4. 巻 185
2. 論文標題 Structural Basis for Channel Conduction in the Pump-like Channelrhodopsin ChRmine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cell	6. 最初と最後の頁 672-689.e23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cell.2022.01.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kano Suzuki, Maria del Carmen Marin, Masae Konno, Reza Bagherzadeh, Takeshi Murata, Keiichi Inoue	4. 巻 298
2. 論文標題 Structural Characterization of Proton-pumping Rhodopsin Lacking a Cytoplasmic Proton Donor Residue by X-ray Crystallography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 101722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbc.2022.101722	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Alexander L. Jaffe, Masae Konno, Yuma Kawasaki, Chihiro Kataoka, Oded Beja, Hideki Kandori, Keiichi Inoue, Jillian F. Banfield	4. 巻 16
2. 論文標題 Saccharibacteria Harness Light Energy Using Type-1 Rhodopsins That May Rely on Retinal Sourced from Microbial Hosts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 2056-2059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-022-01231-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Keiichi Inoue, Satoshi P. Tsunoda, Manish Singh, Sahoko Tomida, Shoko Hososhima, Masae Konno, Ryoko Nakamura, Hiroki Watanabe, Paul-Adrian Bulzu, Horia L. Banciu, Adrian-Stefan Andrei, Takayuki Uchihashi, Rohit Ghai, Oded Beja, Hideki Kandori	4. 巻 6
2. 論文標題 Schizorhodopsins: A Novel Family of Rhodopsins from Asgard archaea that Function as Light-Driven Inward H <sup>+</sup> Pumps	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaaz2441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aaz2441	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yujiro Nagasaka, Shoko Hososhima, Naoko Kubo, Takashi Nagata, Hideki Kandori, Keiichi Inoue, Hiromu Yawo	4. 巻 17
2. 論文標題 Gate-Keeper of Ion Transport- a Highly Conserved Helix-3 Tryptophan in a Channelrhodopsin Chimera, C1C2/ChRWR	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysics and Physicobiology	6. 最初と最後の頁 59-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophysico.BSJ-2020007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kazuhiro J. Fujimoto, Keiichi Inoue	4. 巻 153
2. 論文標題 Excitonic Coupling Effect on the Circular Dichroism Spectrum of Sodium-Pumping Rhodopsin KR2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 45101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0013642	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yu Inatsu, Masayuki Karasuyama, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Ichiro Takeuchi	4. 巻 32
2. 論文標題 Active Learning of Bayesian Linear Models with High-Dimensional Binary Features by Parameter Confidence-Region Estimation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 1998-2031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/neco_a_01310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yu Inatsu, Masayuki Karasuyama, Keiichi Inoue, Ichiro Takeuchi	4. 巻 32
2. 論文標題 Active Learning for Level Set Estimation Under Input Uncertainty and Its Extensions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 2486-2531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/neco_a_01332	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keiichi Inoue	4. 巻 295
2. 論文標題 Shining light on rhodopsin selectivity: How do proteins decide whether to transport H <sup>+</sup> or Cl <sup>-</sup> ?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 14805-14806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.H120.016032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masae Konno, Yumeka Yamauchi, Keiichi Inoue, Hideki Kandori	4. 巻 15
2. 論文標題 Expression Analysis of Microbial Rhodopsin-like Genes in <i>Guillardia theta</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0243387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0243387	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chihiro Kataoka, Teppei Sugimoto, Shunta Shigemura, Kota Katayama, Satoshi P. Tsunoda, Keiichi Inoue, Oded Beja, Hideki Kandori	4. 巻 60
2. 論文標題 TAT Rhodopsin is a UV-Dependent Environmental pH Sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 899-907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.0c00951	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Keiichi Inoue, Masayuki Karasuyama, Ryoko Nakamura, Masae Konno, Daichi Yamada, Kentaro Mannen, Takashi Nagata, Yu Inatsu, Hiromu Yawo, Kei Yura, Oded Beja, Hideki Kandori, Ichiro Takeuchi	4. 巻 4
2. 論文標題 Exploration of Natural Red-shifted Rhodopsins Using a Machine Learning-based Bayesian Experimental Design	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-021-01878-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Oda, T. Nomura, T. Nakane, K. Inoue, S. Ito, J. Vierock, ... R. Ishitani, S. Hayashi, H. Kandori, P. Hegemann, S. Iwata, M. Kubo, T. Nishizawa, O. Nureki	4. 巻 10
2. 論文標題 Time-Resolved Serial Femtosecond Crystallography Reveals Early Structural Changes in Channelrhodopsin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 e62389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7554/eLife.62389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akimitsu Higuchi, Wataru Shihoya, Masae Konno, Tatsuya Ikuta, Hideki Kandori, Keiichi Inoue, Osamu Nureki	4. 巻 118
2. 論文標題 Crystal Structure of Schizorhodopsin Reveals Mechanism of Inward Proton Pumping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	6. 最初と最後の頁 e2016328118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2016328118	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計80件（うち招待講演 32件 / うち国際学会 19件）

1. 発表者名 井上 圭一、柴田 桂成、小田 和正、西澤 知宏、挟間 優治、小野 稜平、竇本 俊輝、Reza Bagherzadeh、八尾 寛、濡木 理、秋山 英文
2. 発表標題 カチオンチャンネルロドプシンC1C2のチャンネル開閉におけるレチナールの構造変化とプロトン移動の役割
3. 学会等名 第22回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎佑真、今野雅恵、井上圭一
2. 発表標題 高熱安定性光駆動型内向きH <sup>+</sup> ポンプロドプシンの高温環境下での機能活性評価
3. 学会等名 第22回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎佑真、今野雅恵、井上 圭一
2. 発表標題 2種類の高熱安定性光駆動型内向きH <sup>+</sup> ポンプロドプシンの高温環境下での機能活性評価と比較
3. 学会等名 第48回生体分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 タンパク質内プロトン移動が微生物ロドプシンの光機能を生み出すしくみ
3. 学会等名 物性研短期研究会「理論タンパク質物性科学の最前線：理論と実験との密な協働」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本 直也、永田 崇、井上 圭一
2. 発表標題 レチナール光異性化酵素として機能する動物ロドプシンの光吸収・反応特性の解析+ポンプロドプシンの高温環境下での機能活性評価と比較
3. 学会等名 物性研短期研究会「理論タンパク質物性科学の最前線：理論と実験との密な協働」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Natural Photoreceptive-Protein Toolbox of Microbial Rhodopsins
3. 学会等名 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electrooptics (CLEO) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田 崇、川崎 佑真、今野 雅恵、長坂 勇次郎、青山 真子、片山 耕大、Andrey Rozenberg, Igor Kaczmarczyk, Donna Matzov, Moran Shalev-Benami, Oded Beja, 神取 秀樹、井上 圭一
2. 発表標題 新奇微生物ロドプシン・ベストロドプシンの発色団特性とその構成的理解
3. 学会等名 第22回日本光生物学協会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石塚 智大、鈴木 花野、川崎 佑真、今野 雅恵、村田 武士、井上 圭一
2. 発表標題 土壌細菌由来新奇光駆動型Cl <sup>-</sup> -ポンプロドプシンとそのイオン輸送機構
3. 学会等名 第22回日本光生物学協会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 藻類の光受容型巨大イオンチャネル複合体 ベストロドプシン
3. 学会等名 生理学研究所研究会「構造情報を基盤とした膜機能分子の生理機能理解に向けて」 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎佑真、柴田 桂成、岸 孝一郎、竇本 俊輝、小野 稜平、福田 昌弘、八尾 寛、加藤英明、秋山 英文、井上 圭一
2. 発表標題 光開閉型陽イオンチャネルロドプシンChRmineの発色団構造変化の解明
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 深部神経活動磁場操作に向けた新規分子ツール開発
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Del Carmen Marin Perez、Masae Konno、Hiromu Yawo、Keiichi Inoue
2. 発表標題 Conversion of light-driven outward proton pump rhodopsin into inward proton pump
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田 崇、川崎 佑真、今野 雅恵、長坂 勇次郎、青山 真子、片山 耕大、Andrey Rozenberg, Igor Kaczmarczyk, Donna Matzov, Moran Shalev-Benami, Oded Beja, 神取 秀樹、井上 圭一
2. 発表標題 新奇微生物ロドプシン・ベストロドプシンのユニークな発色団レチナール異性化特性
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野 雅恵、Alexander L. Jaffe、川崎佑真、片岡 千尋、Oded Beja、神取 秀樹、Jillian F. Banfield、井上 圭一
2. 発表標題 宿主由来のレチナールを利用する共生古細菌Saccharibacteria由来Type-1ロドプシンの分子特性
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宝本 俊輝、八尾 寛、長坂 勇次郎、吉岡 輝、関野 正樹、井上 圭一
2. 発表標題 磁気刺激による細胞活動制御のための磁気レーザー・磁気刺激システムの開発
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎 佑真、今野 雅恵、井上 圭一
2. 発表標題 高熱安定性光駆動型内向き H <sup>+</sup> ポンプロドプシンにおける熱安定性要因の研究
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 石塚 智大、鈴木 花野、川崎 佑真、今野 雅恵、村田 武士、井上 圭一
2. 発表標題 新奇塩化物イオンポンプロドプシンの輸送メカニズム研究
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Discovery and functional analysis of novel retinal proteins
3. 学会等名 The Sir Martin Wood Prize Lecture - Stuttgart (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石塚 智大、鈴木 花野、川崎 佑真、今野 雅恵、村田 武士、井上 圭一
2. 発表標題 新奇光駆動型イオンポンプによる塩化物イオン輸送機構
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Discovery and functional analysis of novel retinal proteins
3. 学会等名 The Sir Martin Wood Prize Lecture - Oxford (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Discovery and functional analysis of novel retinal proteins
3. 学会等名 The Sir Martin Wood Prize Lecture - Cambridge (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Discovery and functional analysis of novel retinal proteins
3. 学会等名 The Sir Martin Wood Prize Lecture - Manchester (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 What determines the rate of reaction process of ion-transporting rhodopsins?
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (ICRP2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Nagata
2. 発表標題 Development of a dark-active, light-inactivated optogenetic tool for controlling G protein signaling toward vision restoration
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (ICRP2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Del Carmen Marin Perez、Masae Konno、Hiromu Yawo、Keiichi Inoue
2. 発表標題 Conversion of light-driven outward proton pump rhodopsin into inward proton pump
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (ICRP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masae Konno、Alexander L. Jaffe、Yuma Kawasaki、Chihiro Kataoka、Oded Beja、Hideki Kandori、Jillian F. Banfield、Keiichi Inoue
2. 発表標題 Molecular characterization of proton-pumping rhodopsin from Saccharibacteria that may use host-derived all-trans retinal
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (ICRP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohiro Ishizuka、Kano Suzuki、Yuma Kawasaki、Masae Konno、Takeshi Murata、Keiichi Inoue
2. 発表標題 Unique ion transport mechanism by novel chloride pump rhodopsin from soil bacteria
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (ICRP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Del Carmen Marin Perez、Masae Konno、Hiromu Yawo、Keiichi Inoue
2. 発表標題 Conversion of light-driven outward proton pump rhodopsin into inward proton pump
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (ICRP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisei Shibata, Yuma Kawasaki, Koichiro Kishi, Shunki Takaramoto, Ryohei Ono, Masahiro Fukuda, Hiromu Yawo, Hideaki Kato, Hidefumi Akiyama, Keiichi Inoue
2. 発表標題 The dynamics of two gates of pump-like channel rhodopsin, ChRmine, revealed by a combination of spectroscopic and electrophysiological studies
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (ICRP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野 雅恵
2. 発表標題 微生物ロドプシンのメカニズム研究と植物オプトジェネティクスへの応用
3. 学会等名 ISSP Workshop「物性女性若手研究交流会2022」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Del Carmen Marin Perez
2. 発表標題 Functional conversion of light-driven outward proton pump rhodopsin
3. 学会等名 ISSP Workshop「物性女性若手研究交流会2022」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 ロドプシンが織り成す新時代の光生物学
3. 学会等名 The Sir Martin Wood Prize Lecture - Nagoya (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 多角的時間分解計測によるタンパク質の反応ダイナミクスの理解
3. 学会等名 令和4年度「高速分子動画」シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Photochemistry of rhodopsins in the microorganism world
3. 学会等名 ICPAC KK 2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石塚 智大、鈴木 花野、川崎 佑真、今野 雅恵、村田 武士、井上 圭一
2. 発表標題 土壌細菌由来新奇Cl-ポンプロドプシンによるイオン輸送機構の解明
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会第48回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 AIによる高機能性タンパク質探索とデザイン
3. 学会等名 第5回 発動分子科学サロン「発動分子とAI」（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎佑真、柴田 桂成、岸 孝一郎、竇本 俊輝、小野 稜平、福田 昌弘、八尾 寛、加藤英明、秋山 英文、井上 圭一
2. 発表標題 分光学的手法と電気生理学的手法を用いたポンプ様チャネルロドプシン (ChRmine) のチャネル開閉機構の解明
3. 学会等名 第11回日本生物物理学会関東支部会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 化学の視点で探る微生物ロドプシンの不思議と可能性
3. 学会等名 大阪公立大学・第1回学際化学若手育成シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永田 崇、川崎 佑真、今野 雅恵、長坂 勇次郎、青山 真子、片山 耕大、Andrey Rozenberg, Igor Kaczmarczyk, Donna Matzov, Moran Shalev-Benami, Oded Beja, 神取 秀樹、井上 圭一
2. 発表標題 新奇光受容タンパク質ベストロドプシンの特異な発色団光異性化反応
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 光駆動タンパク質ロドプシンのもたらす生物と光の新たな関係
3. 学会等名 バイオインダストリー協会"・未来へのバイオ技術" 勉強会「光と音の遺伝子応答とオプトジェネティクス」 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一、志甫谷 涉、今野 雅恵、樋口 晶光、但馬 聖也、古谷 祐詞、川崎 佑真、永田 崇、八尾 寛、川村 出、神取 秀樹、濡木 理
2. 発表標題 アスガルドアーキア由来の新奇光駆動型内向きプロトンポンプ：シゾロドプシンの機能・分光・構造研究
3. 学会等名 第47回生体分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎佑真、今野雅恵、井上圭一
2. 発表標題 Methanoculleus 属アーキア由来シゾロドプシンの熱安定性研究
3. 学会等名 第47回生体分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 ロドプシンの色を変える：構造・理論・機械学習的アプローチ
3. 学会等名 電気学会 光・量子デバイス研究会「革新的材料の創出とデバイス応用」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 光エネルギーを使って内向きにプロトンを輸送するロドプシンの構造とダイナミクス
3. 学会等名 第21回日本蛋白質科学会年会・ワークショップ「高速分子動画：タンパク質の構造機能相関研究の最先端」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎佑真、今野雅恵、井上圭一
2. 発表標題 Methanoculleus 属古細菌由来新奇シゾロドプシンの熱安定性評価
3. 学会等名 第21回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 アスガルドアーキアは光をつかう？ ロドプシンを用いた光受容と新奇シゾロドプシンファミリー
3. 学会等名 極限環境生物学会・第22回シンポジウム「微生物ダークマターへの挑戦」 （招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 自然界の光分子ツールボックス 微生物ロドプシンの科学を理解する
3. 学会等名 第19回 “光” 機到来！ Qコロキウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎佑真、今野雅恵、井上圭一
2. 発表標題 高温環境由来新奇シゾロドプシンの熱安定性研究
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 真核生物の起源に関わる新奇光受容型膜タンパク質ロドプシンの機能メカニズム研究
3. 学会等名 山田科学振興財団・2021年度研究交歓会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎佑真、今野雅恵、井上圭一
2. 発表標題 高温環境から発見されたシソロドプシンの熱安定性研究
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上圭一、鈴木花野、今野雅恵、Reza Bagherzadeh、Andrey Rozenberg、Maria del Carmen Marin、Oded Beja、村田武士
2. 発表標題 DTGロドプシンのX線結晶構造解析
3. 学会等名 第59回生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永田 崇
2. 発表標題 視覚再生に向けた暗活性・光不活性化GPCR型光遺伝学ツールの開発
3. 学会等名 第59回生物物理学会年会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野雅恵、Bu Xu、Apoorva Prabhu、Yang Liu、Meng Li、Oded Beja、Chuanlun Zhang、Christian Rinke、Lu Fan、井上圭一
2. 発表標題 シグナルペプチドを持つMarine group II 古細菌由来Clade-Cロドプシンの分子特性
3. 学会等名 第59回生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Maria del Carmen Marin Perez、Konno Masae、Laura Pedraza-Gonzalez、Luca De Vico、Massimo Olivucci、Keiichi Inoue
2. 発表標題 Color Tuning of Microbial Rhodopsin Proteins: Combined Spectroscopic and QM/MM Modeling Studies
3. 学会等名 第59回生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎佑真、今野雅恵、井上 圭一
2. 発表標題 高温環境由来のアーキアから発見されたシゾロドプシンの熱安定性研究
3. 学会等名 第59回生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本直也、永田崇、井上 圭一
2. 発表標題 レチナル光異性化酵素として働く動物ロドプシンの分光学的解析
3. 学会等名 第59回生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上圭一、烏山昌幸、神取秀樹、竹内一郎
2. 発表標題 機械学習による微生物ロドプシンの吸収波長予測
3. 学会等名 第44回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Maria del Carmen Marin Perez、今野雅恵、Laura Pedraza-Gonzalez、Luca De Vico、Massimo Olivucci、井上圭一
2. 発表標題 Color Tuning of Microbial Rhodopsin Proteins: Combined Spectroscopic and QM/MM Modeling Studies
3. 学会等名 第44回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 The diversity and the molecular mechanism of light-driven inward proton pump rhodopsins
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem) 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keiichi Inoue、Maria del Carmen Marin Perez、Sahoko Tomida、Ryoko Nakamura、Yuta Nakajima、Massimo Olivucci、Hideki Kandori
2. 発表標題 Red-shifting mutation of light-driven sodium-pump rhodopsin
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keiichi Inoue, Tamiko Kiyotani, Ichiro Tanaka
2. 発表標題 Detection of Functional Processes of Photoreceptive Proteins by Muon
3. 学会等名 ISIS Muon Illumination Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永田 崇
2. 発表標題 Molecular physiological study on rhodopsin-based visual and non-visual photoreceptions of a jumping spiser
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本直也、永田崇、井上圭一
2. 発表標題 Spectral characterization of vertebrate opsins acting as a retinal photoisomerase
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 光ではたらく膜タンパク質 ロドプシンの多彩な機能と光遺伝学
3. 学会等名 第6回CURIEセミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石塚智大、川崎佑真、今野雅恵、井上 圭一
2. 発表標題 細菌由来新奇Cl <sup>-</sup> -ポンプロドプシンの輸送メカニズム研究
3. 学会等名 第11回日本生物物理学会関東支部会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本直也、永田崇、井上 圭一
2. 発表標題 レチナル光異性化酵素ロドプシンRGRの光吸収・反応特性の解析
3. 学会等名 第11回日本生物物理学会関東支部会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue, Keisei Shibata, Kazumasa Oda, Tomohiro Nishizawa, Yuji Hazama, Ryohei Ono, Shunki Takaramoto, Reza Bagherzadeh, Hiromu Yawo, Osamu Nureki, Hidefumi Akiyama
2. 発表標題 Study on the dynamics of channel opening and closing of cation channelrhodopsin, C1C2
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上圭一、烏山昌幸、神取秀樹、竹内一郎
2. 発表標題 機械学習を用いたロドプシンの吸収波長予測法とオプトジェネティクスツール開発への応用
3. 学会等名 ISSPワークショップ：開放系トポロジーと生体・量子・統計物理
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本直也、永田崇、井上圭一
2. 発表標題 レチナル光異性化酵素として働くロドプシンの光吸収・反応特性の解析
3. 学会等名 ISSPワークショップ：開放系トポロジーと生体・量子・統計物理
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Sir Martin Wood Prize Lecture: The emerging world of microbial rhodopsins in photobiology
3. 学会等名 MPI-FKF Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Sir Martin Wood Prize Lecture: The emerging world of microbial rhodopsins in photobiology
3. 学会等名 MRC LMB Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 圭一、志甫谷 涉、今野 雅恵、樋口 晶光、但馬 聖也、古谷 祐詞、川崎 佑真、永田 崇、八尾 寛、川村 出、神取 秀樹、濡木 理
2. 発表標題 光駆動型内向きプロトンポンプ、シゾロドプシンのプロトン輸送メカニズム
3. 学会等名 第43回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 圭一、志甫谷 涉、今野 雅恵、樋口 晶光、但馬 聖也、古谷 祐詞、川崎 佑真、永田 崇、八尾 寛、川村 出、神取 秀樹、濡木 理
2. 発表標題 光駆動型内向きH+ポンプ型シゾロドプシンのH+輸送メカニズムの分光及び構造研究
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会第46回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田 崇、烏山 昌幸、中島 悠、吉澤 晋、竹内 一郎、井上 圭一
2. 発表標題 海洋性細菌のCl <sup>-</sup> -ポンプロドプシンにおける波長制御メカニズムの変異体解析
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会第46回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 萬年 健太郎、永田 崇、戸叶 貴也、内橋 貴之、Oded Beja、井上 圭一
2. 発表標題 TATロドプシンのpKaと多量体形成の制御における保存されたグルタミン酸の役割
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会第46回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 微生物ロドプシンの吸収波長の自在制御に向けた機械学習法の開発
3. 学会等名 日本バイオインダストリー協会・発酵と代謝研究会勉強会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 タンパク質のボトムアップ機能向上への機械学習法の応用
3. 学会等名 ISSPワークショップ「物性科学におけるデータ科学の今と未来」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keiichi Inoue
2. 発表標題 Photobiology of new microbial rhodopsins
3. 学会等名 BPS - Biophysical Society 65th Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一
2. 発表標題 新奇な微生物型ロドプシンの光機能およびその光反応メカニズム
3. 学会等名 第3回晝間輝夫光科学賞・令和2年度研究助成金贈呈式(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 圭一、志甫谷 涉、今野 雅恵、樋口 晶光、但馬 聖也、古谷 祐詞、川崎 佑真、永田 崇、八尾 寛、川村 出、神取 秀樹、濡木 理
2. 発表標題 アスガルド古細菌の持つ新奇光駆動型内向きプロトンポンプ、シゾロドプシンの輸送メカニズム
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2020年



〔図書〕 計2件

1. 著者名 井上 圭一	4. 発行年 2023年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 265
3. 書名 ロドプシンを用いた光受容と新奇シゾロドプシンファミリー	

1. 著者名 Keiichi Inoue	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 663
3. 書名 Optogenetics: Light-Sensing Proteins and Their Applications in Neuroscience and Beyond	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>学術変革領域研究(B)「生体分子工学と低物理エネルギーロジスティックスの融合による次世代非侵襲深部生体操作」ホームページ  <a href="https://lem.issp.u-tokyo.ac.jp/">https://lem.issp.u-tokyo.ac.jp/</a></p> <p>東京大学物性研究所・井上研究室  <a href="https://inoue.issp.u-tokyo.ac.jp/index.html">https://inoue.issp.u-tokyo.ac.jp/index.html</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	八尾 寛  (Yawo Hiromu)  (00144353)	東京大学・物性研究所・特任研究員   (12601)	磁場印加システム開発、電気生理学実験、カルシウムイメージング

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	宝本 俊輝  (Takamoto Syunki)  (40910691)	東京大学・物性研究所・特任研究員   (12601)	遺伝子コンストラクト設計・作成、磁場印加システム開発、電気生理学実験、カルシウムイメージング、大腸菌によるタンパク質発現・生成、タンパク質熱安定性評価
研究協力者	永田 崇  (Nagata Takashi)  (90589962)	東京大学・物性研究所・特任研究員   (12601)	遺伝子コンストラクト設計・作成
研究協力者	長坂 勇次郎  (Nagasaka Yujiro)	東京大学・物性研究所・大学院生   (12601)	磁場印加システム開発

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関